

물리적, 화학적 원인에 의한 섬유 손상 데이터 분석

서지영¹, 유재두^{2*}, 이동민¹, 박초원¹, 윤영욱¹

¹충남대학교 과학수사학과 대학원생, ²목원대학교 경찰법학과 교수

Analysis of Fiber Damage data Due to Physical and Chemical Causes

Ji-Young Seo¹, You-Jae Doo^{2*}, Dong-Min Lee¹, Cho-Won Park¹, Young-Wook Woon¹

¹Student, Department of Scientific Criminal Investigation, Chungnam National University

²Professor, School of Dep of police & Law, Mokwon University

요약 본 연구에서는 칼과 가위 및 화학약품에 의한 물리·화학적 섬유 손상을 분석하여 손상의 원인 파악을 위한 기술 데이터 자료로써 활용하고자 하였다. 칼 4종류 및 가위 5종류와 4종류의 화학약품(황산, 염산, 수산화나트륨, 수산화칼륨)을 이용하여 면(Cotton), 울(Wool), 폴리에스터(Polyester), 레이온(Rayon), T/C(Polyester 50%, Cotton 50%), T/W(Polyester 50%, Wool 50%)에 물리·화학적 손상을 생성하여 공구와 화학약품에 따른 손상을 분석하였다. 칼과 가위에 의한 관통 손상은 칼의 날 부분이 관통한 경우 공통으로 “V” 유형의 손상이 나타났으며, 칼의 등 부분이 관통한 칼의 경우 “T”, “ㄱ”, 갈고리, “ㄷ” 유형의 손상이 나타났다. 또한, 가위의 경우 모두 “Y” 유형의 손상이 공통으로 나타났다. 화학약품에 의한 섬유 손상은 유류 흔적, 부식, 분해, 수축, 변색 등 다양한 손상이 나타났으며, 화학약품과 섬유의 종류에 따라 나타나는 손상에 차이를 보였다. 섬유의 물리적 손상은 공구의 형태적 특성에 따라 나타나는 특징에 차이를 보였으며, 화학적 손상은 화학약품과 섬유의 종류에 따른 특징 차이를 보임을 확인하였다.

키워드 : 섬유, 공구, 화학약품, 물리적 손상, 화학적 손상

Abstract In this study, the physical and chemical fiber damage caused by knives, scissors, and chemicals was analyzed and used as technical data to determine the cause of the damage. Using 4 types of knives, 5 types of scissors and 4 types of chemicals(Sulfuric Acid, Hydrochloric Acid, Sodium Hydroxide, Potassium Hydroxide) physical and chemical to Cotton, Wool, Polyester, Rayon, T/C (Polyester 50%, Cotton 50%), T/W (Polyester 50%, Wool 50%) Damages were created and analyzed for damage caused by tools and chemicals. For penetrating damage caused by knives and scissors, 'V' type damage was generally seen when the blade part was penetrated, 'T', 'ㄱ', 'C' type damage was found, and in the case of scissors, 'Y' This type of damage was common. Fiber damage caused by chemicals showed various damage such as remanent trace, corrosion, degraded, contracting, and color changes. Physical damage of fibers showed differences in characteristics according to the shape characteristics of tools, and chemical damage showed differences in characteristics according to chemicals and types of fibers.

Key Words : Textiles, Tools, Chemicals, Physical damage, Chemical damage

*Corresponding Author : You-Jae Doo(okjadu@naver.com)

Received November 4, 2022

Accepted February 20, 2023

Revised December 21, 2022

Published February 28, 2023

1. 서론

법과학 현장에서 범인과 피해자의 접촉으로 섬유는 물적 증거로 사건 현장에 유류가 쉬운 증거물이며, 살인, 성폭행 및 강간 등 다양한 유형의 범죄에서 전이, 이탈 및 오염 등으로 가시적 확인이 어려운 미세증거물로 유류 된다. 또한, 흉기 및 화학약품 등에 대한 사건이 발생할 시 섬유 손상에 관해 확인하며, 섬유 손상 형태는 다양한 범죄 유형에서 사건 재구성의 단서를 제공하는 현장 증거물으로써 중요성이 강조되고 있다[1,2].

대표적인 법 과학적 섬유 손상은 공구 중 도검류에 의해 나타나는 절단(Cut), 찢김(Tear), 찌름(Puncture), 연마(Abrasion) 등 물리적 손상과 화재 및 폭발에 의한 섬유의 열 손상(Thermal damage) 및 화학약품에 의한 화학적 손상(Chemical damage)이 있다. 그 밖에 활 혹은 총기 등 발사체에 의한 손상(Projectiles damage), 동물의 발톱 및 치아에 의한 손상(Animal damage), 토양의 매장에서 나타날 수 있는 미생물 손상(Microbial damage), 목땀사와 같이 압력 혹은 외력에 의한 인장파괴(Tensile failure) 등 다양한 섬유 손상이 존재한다 [3,4]. 섬유의 물리적 손상은 공구의 형태적 특성, 섬유의 성분 및 구조, 관통, 절단 등 다양한 요소에 의해 나타나는 형태적 특성에 차이를 보일 수 있으며, 도검의 경우 날의 구조에 따라 특징적인 손상 형태가 나타날 수 있기에 이를 통해 공구를 유추할 수 있다고 보고되고 있다[5]. 섬유의 열 손상은 주로 섬유의 성분에 따라 그을음 혹은 용융 등 나타나는 특징에 차이를 보이며, 이를 현미경을 이용한 분석에서 다양한 열 손상 패턴(인장, 용단, 팽창, 망울)을 확인할 수 있다[6-8].

국외의 경우 공구의 형태적 특징에 따른 섬유 손상, 베기, 찌르기 등 공격 방법 및 각도에 따른 섬유 손상, 화재 및 열에 의한 섬유 손상, 총기에 의한 섬유 손상 등 물리적 손상에 관한 다양한 연구 자료를 확보하고 있으며, 섬유에 나타나는 손상 및 흔적을 통해 범행에 사용되는 공구 혹은 무기를 추정하기 위한 자료로 활용되고 있다 [9-12]. 반면에 국내에서는 총기와 발사 거리에 대한 의복 손상 정도와 화재로 인한 가구 소품의 섬유 손상 정도에 관한 연구가 진행되고 있으나, 과학수사에 활용하기 위한 피해자와 가해자의 섬유 손상에 관한 자료가 미비하다. 또한, 공구로 인해 피부에 남은 직접적인 손상에 대한 언급은 있으나 피부와 섬유에 남겨진 손상 형태를 비교하

여 나타날 수 있는 동일성 및 화학적 손상에 관한 연구 자료가 부족한 실정이다[13-16]. 특히 화학약품에 대한 섬유의 특성은 법과학 분야뿐만 아니라 의류 산업, 보존과학, 섬유공학 등 여러 분야에서 활용될 수 있기에 다양한 종류의 화학약품과 섬유의 상호작용에 대한 기초자료를 확보할 필요가 있다[17-21].

본 연구에서는 다양한 종류의 섬유와 공구(칼, 가위) 및 화학약품을 이용하여 섬유 손상 분석을 통해 범행 공구 추정 가능성과 섬유의 종류에 따른 물리·화학적 손상 형태 및 차이를 파악함으로써 손상의 원인 추정을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 시료 및 시약

섬유 시료로는 세탁 및 건조 과정을 거치지 않은 면(Cotton), 울(Wool), 폴리에스터(Polyester), 레이온(Rayon), T/C(Polyester 50%, Cotton 50%), T/W(Polyester 50%, Wool 50%) 총 6종류를 사용하였으며, 칼과 가위에 의한 물리적 섬유 손상 실험에는 섬유를 10cm × 20cm로 재단하였고, 화학약품에 의한 화학적 섬유 손상 실험에는 5cm × 5cm로 재단하여 사용하였다.

물리적 섬유 손상 실험에 사용된 공구는 칼 시료는 4종류를 사용하였으며, 이를 Table 1에 나타냈다. 칼 시료는 칼의 사용 용도 및 칼날의 형태적 특성에 따라 분류하였다. 다용도 칼(Multipurpose knife), 과일과도(Fruit knife), 곡선과도(Curve fruit knife), 톱날 칼(Saw blade knife) 4종류로 분류하였다. 곡선 과도는 안쪽으로 날이 굽어있는 것이 특징이며, 톱날 칼은 칼날이 톱날과 같은 형태를 특징으로 하고 있다.

가위 시료는 5종류를 사용하였으며, 이를 Table 2에 나타냈다. 가위 시료는 사용 용도 및 칼날의 형태적 특성에 따라 분류하였다. 다용도 가위(Multipurpose scissors), 다용도 톱 가위(Multipurpose saw scissors), 곡선 톱 가위(Curved saw scissors), 등톱 가위 A(Back saw scissors A), 등톱 가위 B(Back saw scissors B) 5종류로 분류하였다. 곡선 톱 가위는 곡선형의 외형과 칼날이 톱날과 같은 형태를 특징으로 하고 있다. 등톱 가위는 칼등이 톱날 형태를 하고 있으며, 등톱 가위 A 시료는 칼등의 높이가 일정하였고, 등톱 가위 B 시료 톱날 부분이 돌출되어있는 특징으로 구조적 차이가 있기에 개별 시료

로 분류하였다. 섬유의 물리적 손상 생성을 위해 사용된 대상물질로는 관통 흔적의 경우 스티로폼을 사용하였으며, 절단 흔적은 나무판을 사용하였다.

Table 1. Types of knives used in the experiment





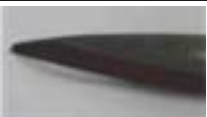

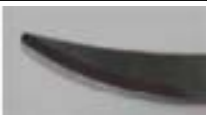


Knife		Width range (cm)
Multipurpose knife		1.03-4.3
Fruit knife		0.27-2.06
Curve fruit knife		0.34-1.45
Saw blade knife		1.13-2.43

Table 2. Types of scissors used in the experiment

Scissors		Width range (cm)
Multipurpose scissors		0.39-1.84
Multipurpose saw scissors		0.37-1.8
Curved saw scissors		0.67-2.26
Back saw scissors A		0.55-1.71
Back saw scissors B		0.38-1.6

화학적 섬유 손상 실험에 사용된 시약은 강산 2종류(황산, 염산), 강알칼리 2종류(수산화나트륨, 수산화칼륨)를 사용하였으며, 시약의 농도는 황산(5%, 95%), 염산(10%, 35-37%), 수산화나트륨(20%, 50%), 수산화칼륨(30%)을 사용하였다. 화학약품의 수소이온농도(pH)는 Combur 10 test(Cobas)를 이용하여 측정하였으며, pH Test strip(Mister Holistic Apothecary) 제품을 참고하여 이를 Table 3에 나타내었다.

실험에 사용된 강산 시약의 pH 농도 범위는 1~5이며, 황산 5% 시약은 pH 5, 황산 95% 시약은 pH 1, 염산 10% 시약은 pH 5, 염산 35~37% 시약은 pH 3으로 측정되었다. 강알칼리 시약의 pH 농도는 수산화나트륨(20%, 50%), 수산화칼륨(30%) 모두 pH 9로 측정되었다.

Table 3. The type of chemical used in the experiment and the concentration of hydrogen ions (pH)

Sample	%	ph
Sulfuric Acid (H ₂ SO ₄)	5	5
	95	1
Hydrochloric acid (HCl)	10	5
	35-37	3
Sodium hydroxide (NaOH)	20	9
	50	9
Potassium hydroxide (KOH)	30	9

2.2 기구 및 방법

물리적 섬유 손상의 경우 전자저울(CAS NT-302A)을 이용하여 약 1.4-2.5 kg의 순간적인 힘으로 손상을 생성하였으며, 화학적 섬유 손상의 일부는 실체현미경을 이용하여 150배율로 관찰하였다. 또한, DSLR(Nikon D5300)을 사용하여 촬영하였다.

칼과 가위에 의한 물리적 섬유 손상은 관통 흔적과 절단 흔적은 모두 섬유를 대상물질 위에서 놓고 손상을 생성하였으며, 방법은 <Fig. 1>과 같다. 가위에 의한 관통 흔적은 양날 중 한쪽 날만 사용하여 손상을 생성하였으며, 대상물질은 스티로폼을 사용하였다. 절단 흔적의 경우 칼과 가위의 날이 유사하여 절단 흔적의 차이를 보이지 않는 것을 고려하여 특정한 날의 형태를 지닌 칼 3종류(과도, 곡선과도, 톱날 칼)를 선정하여 사용하였다.

화학약품에 의한 화학적 섬유 손상은 슬라이드글라스에 재단된 섬유를 올린 후 피펫(Gilson PIPETMAN)을 사

용하여 시약 20 μ L를 섬유 표면에 유류하여 변화를 관찰하였다.

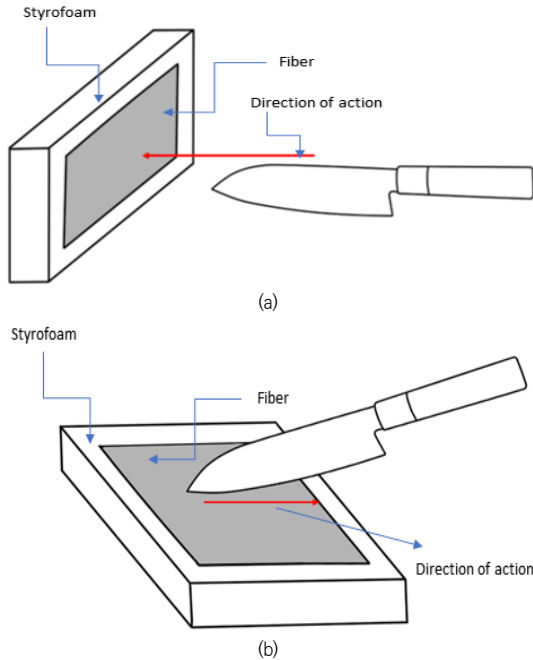


Fig. 1. Physical damage to the fibers. (a) Penetration marks, (b) Cut marks

2.3 화학적 섬유 손상 유형

화학약품에 의한 섬유 손상 유형은 섬유 본래의 색상이 화학약품으로 인하여 다른 색상으로 변하는 현상을 변색(Colour changes), 화학약품이 유류 된 곳 중심으로 섬유가 수축하는 현상을 수축(Contracting), 화학약품에 의해 섬유가 녹는 현상을 용융(Melting), 섬유 위에 화학약품이 유류 된 흔적이 남은 현상을 유류 흔적(Remanent trace), 화학약품에 의해 섬유의 내구성이 약화하여 균열이 생기는 현상을 부식(Corrosion), 화학약품에 의해 섬유가 경화되고 내구성이 약해지는 현상을 분해(Degraded)로 분류하였으며, Fig. 2와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1 칼 및 가위에 의한 물리적 섬유 손상 파악

3.1.1 관통 흔적(Penetration marks)

칼 4종류(다용도 칼, 과도, 곡선과도, 톱날 칼)와 가위 5종류(다용도 가위, 다용도 톱 가위, 곡선 톱 가위, 등톱

가위 A, 등톱 가위 B)를 사용하여 물리적 섬유 손상에 관한 결과는 Table 4과 같다.

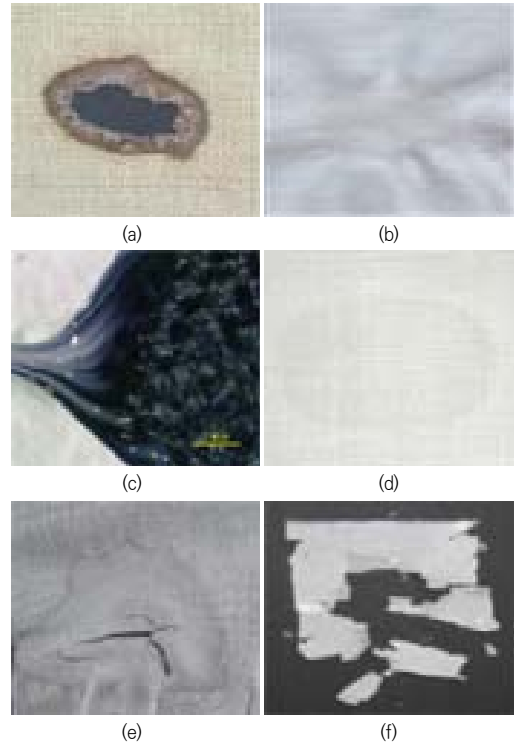


Fig. 2. Fiber damage from chemicals. (a) Colour changes, (b) Contracting, (c) Melting, (d) Remanent trace, (e) Corrosion, (f) Degraded

다용도 칼, 과도, 곡선과도에서 나타나는 관통 흔적의 특징은 직선 형태의 관통 흔적으로 윤곽 부분이 매끄러운 형태이며, 섬유의 직조 구조가 분해되어 실 바닥이 돌출되는 직조의 분해가 공통으로 나타났다. 톱날 칼의 경우 직선 형태의 관통 흔적과 직조의 분해가 나타났으나 관통 흔적의 윤곽 부분이 불규칙한 형태로 다른 칼 시료들과 구분되는 특징을 보였다. 또한, 관통 흔적에서 칼의 날과 칼의 등이 관통한 양 끝부분에서 특징적인 형태가 나타났으며, 칼의 날이 관통한 부분의 경우 모든 칼 시료에서 공통으로 “V” 형태의 섬유 손상이 나타났다. 칼의 등이 관통한 부분의 경우 다용도 칼에서는 “T” 및 “□” 형태, 과도에서는 “C” 형태, 곡선 과도에서는 갈고리 형태, 톱날 칼에서는 “C” 형태가 주로 나타났으며, 칼의 날이 관통한 부분과 칼의 등이 관통한 부분이 구분될 수 있는 형태적

인 특징을 보였다.

가위 시료의 경우 대부분 직선 형태의 관통 흔적으로 윤곽 부분이 불규칙한 형태이며, 주로 가위의 날의 등 부분에서 직조의 분해가 공통으로 나타났다. 관통 흔적에서 가위의 날이 관통한 부분은 “V” 형태의 섬유 손상, 날의 등 부분에서는 “Y” 형태의 섬유 손상이 나타났으며, 가위 날의 등과 날이 관통한 부분을 구분할 수 있는 형태적인 특징을 보였다. 또한, 관통 흔적을 중심으로 주변부에 섬유가 구겨지는 현상이 나타났으며, 이는 날의 끝부분이 뭉툭한 가위가 섬유의 장력을 늘리면서 관통하고, 섬유의 장력이 다시 회복되면서 형성되는 것으로 생각된다.

Table 4. Characteristic forms of damage to the back and blades of knives and scissors

	Back		Blade
Knife			
	T Patten	C Patten	
	"□" Patten	Hook Patten	
Scissors			
	"Y" Patten	"Y" Patten	"V" Patten

칼과 가위 시료 모두 섬유의 종류에 따라 나타나는 관통 흔적의 형태적 특징에는 차이가 없었으며, 공통으로 직선 형태의 관통 흔적과 칼날이 관통한 부분에서 “V” 형태의 손상이 나타났다. 칼 시료의 경우 칼의 등이 관통한

부분에서는 주로 “T”, “C”, “□”, 갈고리 형태의 손상, 가위 시료의 경우 “Y” 형태의 손상이 나타났으며, 날의 등이 관통한 부분에서 칼과 가위를 구분할 수 있는 형태적 특징이 나타났다. 또한, 가위의 경우 관통 흔적을 중심으로 섬유가 구겨지는 현상이 나타났다.

3.1.2 절단 흔적(Cut marks)

칼 3종류(과도, 곡선과도, 톱날 칼)와 장력을 사용하여 물리적 섬유 손상에 관한 결과는 Fig. 3과 같다.

과도의 경우 모든 섬유에서 매끄러운 절단면이 나타났으며, 곡선 과도의 경우 진행 방향으로 층이 형성되는 계단 형태의 절단면이 나타났다. 톱날 칼의 경우 직조의 분해와 직조의 분해로 인한 섬유의 수축이 나타났으며, 이는 날의 형태적 특성으로 인해 절단 과정에서 저항이 발생하는 것이 원인으로 추정된다. 장력의 경우 섬유의 직조 분해가 공통으로 나타났으며, 장력의 작용하여 섬유의 손상이 진행된 방향으로 올이 돌출되었다.

칼과 장력에 의한 절단 흔적을 비교하였을 때 공구에 따라 섬유의 손상 유형에 차이를 보였으며, 과도에서는 매끄러운 절단면, 곡선 과도에서는 계단 형태의 절단면, 톱날 칼에서는 날의 구조적 특성으로 인한 섬유의 직조 분해가 나타났다. 또한, 장력에 의한 섬유 손상은 섬유의 직조 분해가 나타났으며, 장력이 작용하여 손상이 진행된 방향으로 섬유의 올이 돌출되는 현상이 나타났다. 톱날 칼에서도 직조의 분해로 인해 올이 돌출되는 현상이 나타났으나 손상이 진행된 방향으로 섬유의 올이 돌출되는 현상은 확인할 수 없었다.

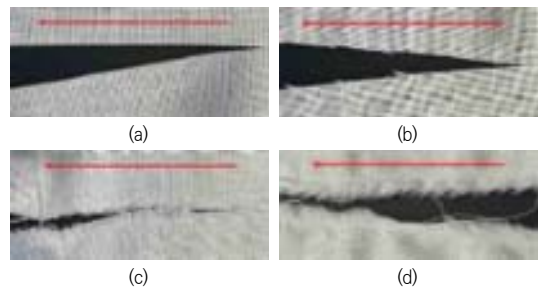


Fig. 3. Cut marks of fiber. (a) smooth cut, (b) step-shaped cut, (c) deformation of fiber, (d) fiber cut by tension

본 연구에서는 칼과 가위 및 장력을 이용한 관통 흔적과 절단 흔적의 형태적 분석을 통해 공구의 형태적 특징

에 따라 나타나는 손상 흔적이 다를 수 있음을 알 수 있었다. 오늘날 다양한 종류의 공구가 존재하기에 다양한 종류의 공구를 적용한 추가적인 자료 확보가 필요하다. 또한, 공구에 의한 섬유 손상은 공구와 섬유가 접촉하면서 교환의 법칙에 따른 섬유의 전이를 유발할 수 있기에 향후 다양한 공구와 섬유의 전이에 관한 자료가 확보된다면 섬유접촉과 재구성에 유용할 것으로 생각된다.

3.2 화학약품에 의한 화학적 섬유 손상 파악

강산 2종류(황산, 염산)와 강알칼리 2종류(수산화나트륨, 수산화칼륨)를 사용하여 화학적 섬유 손상에 관한 결과는 Table 5과 같다.

강산에 의한 화학적 섬유 손상은 농도와 관련 없이 레이온에서 섬유의 부식이 공통으로 나타났다. 황산 95%의 경우 모든 섬유가 원형의 개구(開口)를 동반한 부식과 수축 및 유류 흔적 등 다양한 화학적 손상이 복합적으로 나타났다. 황산 5%에서는 레이온에서만 부식만 나타났다. 염산 35-37%의 경우 모든 섬유에서 부식이 나타나나 레이온에서 상대적으로 강한 부식이 나타났으며, 염산 10%의 경우 레이온에서 미세한 유류 흔적이 나타났고, 레이온을 제외한 모든 섬유에서는 가시적인 손상이 나타나지 않았다. 이는 레이온의 구성성분인 셀룰로오스가 산에서 쉽게 가수분해되기 때문으로 생각된다. 특히, 염산에서 T/C의 화학적 섬유 수축의 경우 실체현미경(X150)으로 관찰하였을 때 폴리에스터 부분이 용융하여 수축함을 확인하였다.

강알칼리에 의한 화학적 섬유 손상은 수산화나트륨과 수산화칼륨 모두 울에서만 원형의 개구를 동반한 부식 및 변색을 확인할 수 있었으며, 이는 동물성 섬유인 울이 단백질로 이루어져 있어 단백질이 가수분해되기 때문으로 생각된다. 수산화나트륨 50%의 경우 면, T/C에서는 섬유 수축, 폴리에스터, 레이온, T/W에서는 유류 흔적이 추가로 나타나 모든 섬유에서 화학적 섬유 손상이 나타남을 확인할 수 있었다. 또한, 수산화나트륨 20%의 경우 면, 레이온, T/C에서는 섬유 수축, 레이온은 유류 흔적이 추가로 나타났으며, 폴리에스터에서는 가시적 손상은 나타나지 않았다. 수산화칼륨 30%의 경우 면, 레이온, T/C에서는 섬유 수축이 추가로 나타났으며, 폴리에스터에서는 가시적 손상이 나타나지 않았다. 특히, T/C의 화학적 섬유 수축의 경우 실체현미경(X150)으로 관찰하였을 때, 면 부분이 용융하여 수축함을 확인하였으며, 이는 강산과 강

알칼리의 성분 차이로 인해 같은 섬유, 같은 손상 유형이라 하더라도 다른 원인에 의한 손상임을 확인할 수 있었다.

강산(황산, 염산)에 의한 섬유 손상 유형은 부식, 분해, 수축, 유류 흔적이 나타났으며, 황산과 염산 모두 레이온에서 손상 유형 중 부식이 공통으로 나타났다. 부식의 경우 pH 농도가 3 이하인 시약(황산 95%, 염산 35-37%)에서 강하게 나타났으며, 약품의 pH 농도에 따라 같은 강산임에도 손상이 나타나는 섬유의 종류와 손상 정도에 차이를 보였다. 강알칼리(수산화나트륨, 수산화칼륨)의 경우 화학약품의 농도와 관계없이 변색, 부식, 수축, 유류 흔적이 나타났으며, 이는 두 종류의 강알칼리 화학약품 농도가 각각 다름에도 pH 농도가 동일하여 유사한 손상이 나타난 것으로 생각된다. 또한, 강알칼리에 대한 울 손상은 개구를 동반한 부식 및 변색이 농도가 다름에도 공통으로 나타났다. 특히, 혼방섬유인 T/C는 강산과 강알칼리에서 수축이 공통으로 나타났으나 Table 5에서 보면 실체현미경(X150)으로 관찰하였을 때 강산은 폴리에스터 부분이 용융하고, 강알칼리는 면 부분이 용융하여 수축하였음을 확인할 수 있었다. 화학약품에 의한 섬유 손상은 섬유 및 화학약품의 종류와 pH 농도에 따라 나타나는 손상 유형과 정도에 차이를 보일 수 있으며, T/C와 같은 혼방섬유는 적용되는 화학약품이 다름에도 유사한 손상이 나타날 수 있으나 2가지 이상의 섬유가 혼방되어 있으므로 손상의 발생 원인이 되는 섬유에는 차이가 있을 수 있음을 확인하였다.

화학적 손상은 섬유와 화학약품의 종류에 따라 나타나는 손상의 형태가 다를 수 있음을 확인하였으며, 강산의 경우 동일한 화학약품임에도 pH 농도에 차이가 있어 손상이 나타나는 섬유의 종류와 손상 정도에 차이를 보였다. 반면에 강알칼리의 경우 각각의 화학약품 종류와 농도에 차이가 있었으나 두 종류의 약품 모두 pH 농도가 동일하였으며 유사한 손상이 나타났다. 이는 화학약품에 의한 섬유 손상이 화학약품의 성분뿐만 아니라 pH 농도에도 영향을 받을 수 있음을 의미한다. 본 연구에서는 한정된 종류의 화학약품과 섬유를 사용했기에 향후 다양한 종류의 섬유와 화학약품을 적용한 자료 확보가 필요하다. 또한, 현장에서 섬유에 유류된 화학약품이 시간이 지남에 따라 화학약품 잔류 정도가 다를 수 있으며 향후 시간이 경과함에 따른 섬유 종류별 화학약품 잔류 정도에 대한 자료 확보가 필요하다.

Table 5. Identification of chemical damage by fiber type

	Sulfuric Acid	Hydrochloric Acid	Sodium Hydroxide	Potassium Hydroxide
Cotton				
Wool				
Polyester				
Rayon				
T/C				
T/W				

4. 결론

섬유 6종류(면, 울, 폴리에스터, 레이온, T/C, T/W)를 사용하여 물리적 및 화학적 섬유 손상을 확인하기 위해 칼과 가위에 의한 물리적 섬유 손상은 칼 4종류(다용도 칼, 과도, 곡선과도, 톱날 칼), 가위 5종류(다용도 가위, 다용도 톱 가위, 곡선 톱 가위, 등톱 가위 A, 등톱 가위 B)를 사용하여 관통 흔적 및 절단 흔적에 대한 섬유 손상 유형을 분류하였으며, 화학약품에 의한 화학적 섬유 손상은 강산 2종류(황산, 염산), 강알칼리 2종류(수산화나트륨, 수산화칼륨)를 사용하여 섬유에 유류 후 손상 유형을 분류한 결과에 대한 결론은 다음과 같다.

1. 섬유의 관통 손상은 양 끝부분에서 구별되는 특징을 보였으며, 칼날이 관통한 부분에서는 공구의 종류가 다름에도 “V” 형태가 공통으로 나타났다. 칼등이 관통한 부분은 칼 시료의 경우 종류에 따라 “T”, “ㄱ”, 갈고리, “ㄷ” 형태가 나타났으며, 가위 시료는 종류와 관계없이 “Y” 형태로 칼 시료와 구별되었다. 또한, 섬유의 절단은 섬유 울의 돌출이 공통되었고, 칼에 의한 절단은 매끄러운 절단, 계단 형태, 불완전한 절단이며, 장력에 의한 절단은 직조의 분해로 차이를 보였다.

2. 화학약품에 의한 섬유 손상은 유류 흔적, 부식, 분해, 수축, 변색 5가지 유형의 손상을 확인할 수 있었으며, 화학약품과 섬유의 종류에 따라 나타나는 손상에 차이를 보였다. 강산(pH 1~5)과 강알칼리(pH 9) 화학약품은 pH 농도에 차이를 보임에도 유류 흔적, 부식, 수축 손상이 공통으로 관찰되었으며, 분해는 강산에서만 나타났고, 변색은 강알칼리에서만 나타나는 특징을 보였다. 울 섬유의 경우 강알칼리에서 변색과 부식이 복합적으로 나타나 다른 섬유와 구별되는 차이를 보였다.

3. 섬유의 물리적 손상은 섬유 종류에 상관없이 공구의 종류에 따른 차이를 보였으며, 화학적 손상은 섬유의 구성성분과 화학약품의 pH 농도에 따른 차이를 보였다. 섬유 손상은 원인에 따라 다양한 형태를 보였고, 오늘날 다양한 종류의 섬유와 공구 및 화학약품이 생산되고 있기에 향후 다양한 시료를 적용한 자료수집이 필요하며, 성분분석과 같은 분석 기법을 추가로 적용한다면 섬유 손상 원인에 대한 식별을 높일 수 있다고 생각한다.

REFERENCES

- [1] Max M. Houck (2010). *Trace evidence*. USA : Infobase Publishing.
- [2] Williams, G. A. (2018). Forensic textile damage analysis: recent advances. *Research and Report in Forensic Medical Science*, 8, 1-8. DOI : 10.2147/RRFMS.S166435
- [3] Robertson, J., Roux, C., & Wiggins, K. G. (2017). *Forensic examination of fibres*. USA : CRC press.
- [4] Taupin, J. M., & Cwiklik, C. (2010). *Scientific protocols for forensic examination of clothing*, USA : CRC press.
- [5] Carr, D. (Ed.). (2017). *Forensic textile science*. UK : Woodhead Publishing.
- [6] Waş-Gubała, J., & Krauß, W. (2004). Damage caused to fibres by vapour cloud explosions. *Forensic SciInt*, 141(2-3), 77-83.
- [7] Waş-Gubała, J., & Krauß, W. (2006). Damage caused to fibres by the action of two types of heat. *Forensic SciInt*, 159(2-3), 119-126
- [8] Hearle, J. W., Lomas, B., & Cooke, W. D. (1998), *Atlas of fibre fracture and damage to textiles*, Elsevier, 416-425.

DOI : 10.1533/9781845691271.7.320

[9] Kemp, S. E., Carr, D. J., Kieser, J., Niven, B. E., & Taylor, M. C.(2009), Forensic evidence in apparel fabrics due to stab events, *Forensic SciInt*, 191(1-3), 86-96.
DOI : 10.1016/j.forsciint.2009.06.013

[10] Sloan, K., Fergusson, M., & Robertson, J. (2019), Australian forensic textile damage examinations-Finding a way forward since PCAST, *Science & Justice*. DOI : 10.1016/j.scijus.2018.10.004

[11] Wightman, G., Wark, K., & Thomson, J. (2015). The interaction between clothing and air weapon pellets, *Forensic SciInt*, 246, 6-16.
DOI : 10.1016/j.forsciint.2014.10.039

[12] Palenik, C., Palenik, S., & Diaczuk, P. (2013). Plumbum microraptus: definitive microscopic indicators of a bullet hole in a synthetic fabric. *The Microscope*, 61, 51-60.

[13] Song Hwa-soon, Kim In-young, Kang Hye-rim (2017), *Textile (4th edition)*, Gyomunsa, 82-160.

[14] Moon Jin-woo, Yoon Young-wook, Park Jong-hyuk, Lee Dong-min, Jung Chan-il, Choi Mi-jung. (2021). Penetration marks in combat uniforms according to rifle firing distance and angle an analysis of the shape of a rupture *Journal of Scientific Investigation*, 15, 175-183.

[15] Choi Ki-ok (2012), Risk Management Information-Cigarette Fire Reproduction Experiment Consequences, *Disaster Prevention and Insurance*, 30-34.

[16] Choi Young-gyu, Jung Ki-shin (2013), and the fire detection of cigarette butts. Experimental Study, *Journal of the Korean Society for Fire Detection* 4.2, 61-64.

[17] Kim Myung Nam, Lim Boa, Lee Sun Myung (2016), Acetaldehyde, Damage Characteristics of *Traditional Textiles by Vol*, 32(3) *Conservation Science Society*.

[18] Jeon Sang-hee, Um Won-sik, Kim Ho-dong (2013), basalt in acid solution the chemical stability of fibers *Journal of Korea Textile Engineering*, 50(4), 247- 251.

[19] Kim Han-il, Choi Ik-sung, Park Sung-woo, Han Yo-han, Kim Sung-hoon, Park Hyun-bae, and Min-moon.Hong (2019), Protective clothing for the removal of hazardous chemicals for military purposes Fiber post-processing for remanufacturing. *Korean Society of Dye ProcessingG*, 31(1), 33-41.

[20] Lee Hee-ryeon, Lee Young-hyun, Yeo Min-ho, Park Sang-hyun, Kim Hye-ran, Park Myung-ja, and Jang Kyung. Wednesday (2020), Standardization of disinfection methods according to textile materials. *Misaeng Journal of the Water Society*, 56(3), 285-296.

[21] Hong Hee-sook, Kim Ki-eok, and Ko Jeong-nyeo (2021). Domestic and Thai Dak Island Dyeing of Zumchi paper mixed with oil and wood pulp Strength Properties, *Journal of the Korean Clothing Society*, 45(6), 1035-1051.

서 지 영(Ji-Young Seo)

[정회원]



- 2020년 2월 : 목원대학교 경찰법학과(법학사)
- 2022년 2월 : 충남대학교 평화안보대학원 과학수사학과 과학수사학(과학수사학석사)

- 관심분야 : 법학, 과학수사학
- E-Mail : wldudwdg3382@naver.com

유 재 두(You-Jae Doo)

[정회원]



- 2009년 8월 : 동국대학교대학원 경찰학 (박사)
- 2012년 : 목원대학교 경찰법학과 조교수 임용

- 관심분야 : 경찰 성과 평가, 범죄 심리
- E-Mail : okjadu@naver.com

이 동 민(Dong-Min Lee)

[정회원]



- 2020년 2월 :충북대학교 공업화학
과(공학사)
- 2022년 2월 : 충남대학교 평화안보
대학원 과학수사학과 과학수사학(과
학수사학석사)

- 관심분야 : 과학수사학, 미세증거
- E-Mail : season3689@naver.com

윤 영 옥(Young-Wook Yoon)

[정회원]



- 2015년 2월 : 대전과학기술대학교
과학수사과(전문학사)
- 2017년 8월 : 학점은행제 심리학 전
공(문학사)
- 2020년 2월 : 충남대학교 평화안보
대학원 과학수사학과 과학수사학(과
학수사학석사)

- 관심분야 : 과학수사학
- E-Mail : young19181@naver.com

박 초 원(Cho-Won Park)

[정회원]



- 2019년 2월 : 대전과학기술대학교
과학수사과(전문학사)
- 2017년 2월 :건양사이버대학교 심
리학과(학사)
- 2021년 3월~현재 : 충남대학교 평
화안보대학원 과학수사학과 과학수
사학(석사과정)

- 관심분야 : 과학수사학
- E-Mail : qkrchdnjs1@naver.com